

В данной статье рассмотрены вопросы моделирования освещения дорожного покрытия улиц и магистралей города. Предложены зависимости связывающие координаты расчетной точки и углы направления силы света светильника в полярной системе координат, приведен пример расчета освещения дорожного покрытия улицы города.

УДК 628.093: 621.398

Харченко В.Ф., канд. техн. наук
Харьковская национальная академия
городского хозяйства

К ВОПРОСУ МОДЕЛИРОВАНИЯ ОСВЕЩЕНИЯ ДОРОЖНОГО ПОКРЫТИЯ УЛИЦ И МАГИСТРАЛЕЙ ГОРОДА

Наружное освещение крупного города решает несколько важных задач, из которых можно выделить три основных: видимость, зрительный комфорт и личная безопасность жителей, пешеходов, водителей транспорта. В Украине, в восточной Европе специальные исследования, направленные на изучение влияния показателей качества освещения на эти три составляющие проводились редко. Однако в западной Европе такие исследования ведутся уже более 80 лет [1]. Видимость большинства критических элементов будет обеспечена, если соблюдены светотехнические рекомендации к устройствам осветительных установок, изложенные в публикациях Международной комиссии по освещению (МКО). Рекомендации комиссии корректируются в сторону увеличения нормативов, поскольку интенсивность движения транспорта постоянно увеличивается. Исследования также показывают, что освещение, создаваемое автомобильными приборами недостаточно для того, чтобы обеспечить видимость всех критических элементов. Вероятность дорожно – транспортных происшествий на неосвещенных дорогах в несколько раз выше, чем на дорогах со стационарными осветительными установками [2]. Отечественные нормативные документы предусматривают нормы количественных и качественных показателей наружного освещения городов [3]. Однако эти нормы уже устарели и требуют переработки. За рубежом количественные показатели освещения увеличиваются, появляются новые качественные показатели, характеризующие эффективность освещения [4]. Так для характеристики качества распределения яркости (или освещенности) в нормах используется так называемый показатель равномерности $U_0 = L_{\min} / L_{\text{ср}}$ (для общей равномерности яркости) или $U_1 = L_{\min} / L_{\max}$ (для продольной равномерности яркости). Кроме того, отдельные инструкции и нормы требуют еще ряд характеристик и ограничений, для выполнения которых требуется трудоемкие и многочисленные расчеты. Поэтому, в этом случае, на первое место выходят светотехнические расчеты. Используемая до настоящего времени методика расчета, в основном, была приспособлена к ручному счету и поэтому содержала существенные допущения и упрощения, а возникающие при этом погрешности практически не поддаются оценке [4]. Возникла задача моделирования освещения дорожного покрытия улиц и магистралей города. Для пространственного моделирования были построены модели кривых силы света светильников наружного освещения (как основного элемента осветительной установки) [5].

Важной задачей является также получение зависимостей, связывающих углы направления силы света в меридиональных и экваториальных плоскостях от координат

расчетной точки [6]. Расчетная схема осветительной установки наружного освещения представлена на рис.1

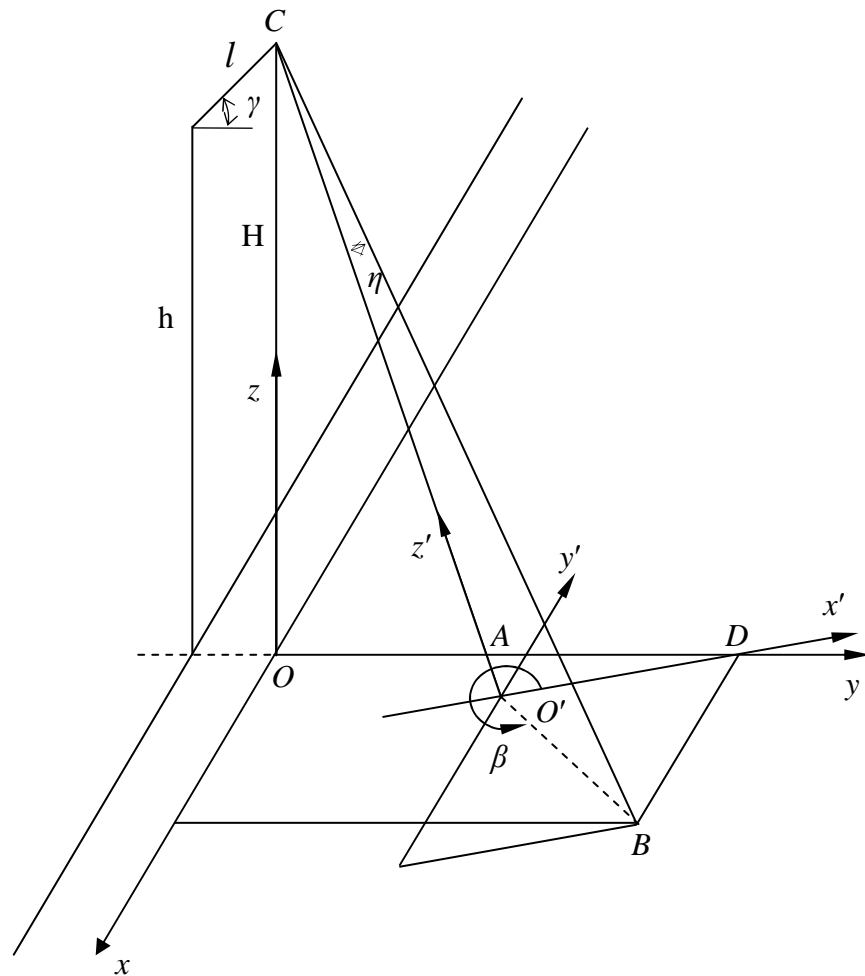


Рис. 1. К расчету углов в меридиональной и экваториальной плоскостях.

На рисунке h – высота опоры, l – длина кронштейна, а γ – угол наклона кронштейна к горизонту. Разместим начало декартовой системы координат в проекции светильника на дорожное полотно. Ось y направим от светильника перпендикулярно дороге, а ось z направим на светильник. Направление оси x выберем так, чтобы оси образовывали правую систему координат. В выбранной системе координат светильник находится в точке C с координатами

$$C(0,0,H), \quad (1)$$

где $H = h + l \sin \gamma$ – высота светильника над дорожным полотном.

Заметим, что ось светильника пересекает ось y в точке A с координатами

$$A(0, y_A, 0), \quad (2)$$

где $y_A = H \cdot \operatorname{tg} \alpha$. Отсюда получаем параметрическое представление оси светильника СА:

$$\begin{cases} x = 0, \\ y = y_A t, \\ z = H(1 - t) \end{cases} \quad (3)$$

Выведем формулы для расчета углов α и β для точки дорожного полотна

$$B(x_B, y_B, 0). \quad (4)$$

Для этого построим плоскость, проходящую через точку В и перпендикулярную оси СА. Ее уравнение:

$$y_A y - H z - y_A y_B = 0. \quad (5)$$

Построенная плоскость пересекает ось у в точке

$$D(0, y_B, 0). \quad (6)$$

Найдем точку пересечения оси СА с этой плоскостью. Для этого подставим (3) в (5). Получим:

$$t = \frac{y_A y_B + H^2}{y_A^2 + H^2}.$$

Отсюда получаем координаты точки пересечения:

$$O' \left(0, \frac{y_A (y_A y_B + H^2)}{y_A^2 + H^2}, \frac{H (y_A^2 - y_A y_B)}{y_A^2 + H^2} \right). \quad (7)$$

Углы α и β являются углами полярной системы координат, связанной со следующими осями. Ось абсцисс $O'x'$ проходит через точки O' и D, ось аппликата $O'z'$ совпадает с осью СП, а ось ординат $O'y'$ определяется так, чтобы система координат была правой.

Величина β определяет угол между векторами $\overrightarrow{O'D}$ и $\overrightarrow{O'B}$ и откладывается против часовой стрелки. Определим косинус угла β через скалярное произведение этих векторов:

$$\cos \beta = \frac{\langle \vec{O'D}, \vec{O'B} \rangle}{\|\vec{O'D}\| \cdot \|\vec{O'B}\|}.$$

Подставляя координаты начал и концов векторов (4),(6),(7), путем преобразований получаем:

$$\cos \beta = \frac{H(y_B - y_A)}{\sqrt{H^2(y_B - y_A)^2 + x_B^2(H^2 + y_A^2)}}.$$

Удобно ввести безразмерные координаты $X_B = x_B / H$, $Y_B = y_B / H$, $Y_A = y_A / H$. В этих обозначениях:

$$\cos \beta = \frac{Y_B - Y_A}{\sqrt{(Y_B - Y_A)^2 + X_B^2(1 + Y_A^2)}}.$$

Учитывая соответствие знаков X_B и β , получим:

$$\boxed{\beta = -\frac{|X_B|}{X_B} \arccos \frac{Y_B - Y_A}{\sqrt{(Y_B - Y_A)^2 + X_B^2(1 + Y_A^2)}}} \quad (8)$$

Угол β принимает значения $\beta \in [-\pi, \pi]$.

Рассмотрим угол η , определяющий угловое расстояние между осью и направлением из точки светильника на точку B . Угол α выбран так, что $\alpha = 3\pi/2 + \eta$ (нулевому значению η соответствует $\alpha = 3\pi/2$). Угол η определяем через скалярное произведение векторов \vec{CA} и \vec{CB} :

$$\cos \eta = \frac{\langle \vec{CA}, \vec{CB} \rangle}{\|\vec{CA}\| \cdot \|\vec{CB}\|}.$$

Подставляя координаты начал и концов векторов (1), (2), (4), получаем:

$$\cos \eta = \frac{1 + Y_A Y_B}{\sqrt{(1 + Y_A^2)(1 + X_B^2 + Y_B^2)}}. \quad (9)$$

Очевидно, что $\eta \in [0, \pi]$. Это условие и (9) однозначно определяют угол η :

$$\eta = \arccos \frac{1 + Y_A Y_B}{\sqrt{(1 + Y_A^2)(1 + X_B^2 + Y_B^2)}}.$$

Таким образом,

$$\alpha = \frac{3\pi}{2} + \arccos \frac{1 + Y_A Y_B}{\sqrt{(1 + Y_A^2)(1 + X_B^2 + Y_B^2)}}. \quad (10)$$

Полученные зависимости (8) и (10) позволили получить направление силы света в заданную точку, соответственно в экваториальных и меридиональных плоскостях, причем учитывался и угол наклона светильника к горизонту. Данные выражения использовались при расчете освещения на вычислительных машинах в соответствии с моделью освещения дорожного покрытия улиц и магистралей города рис.3.

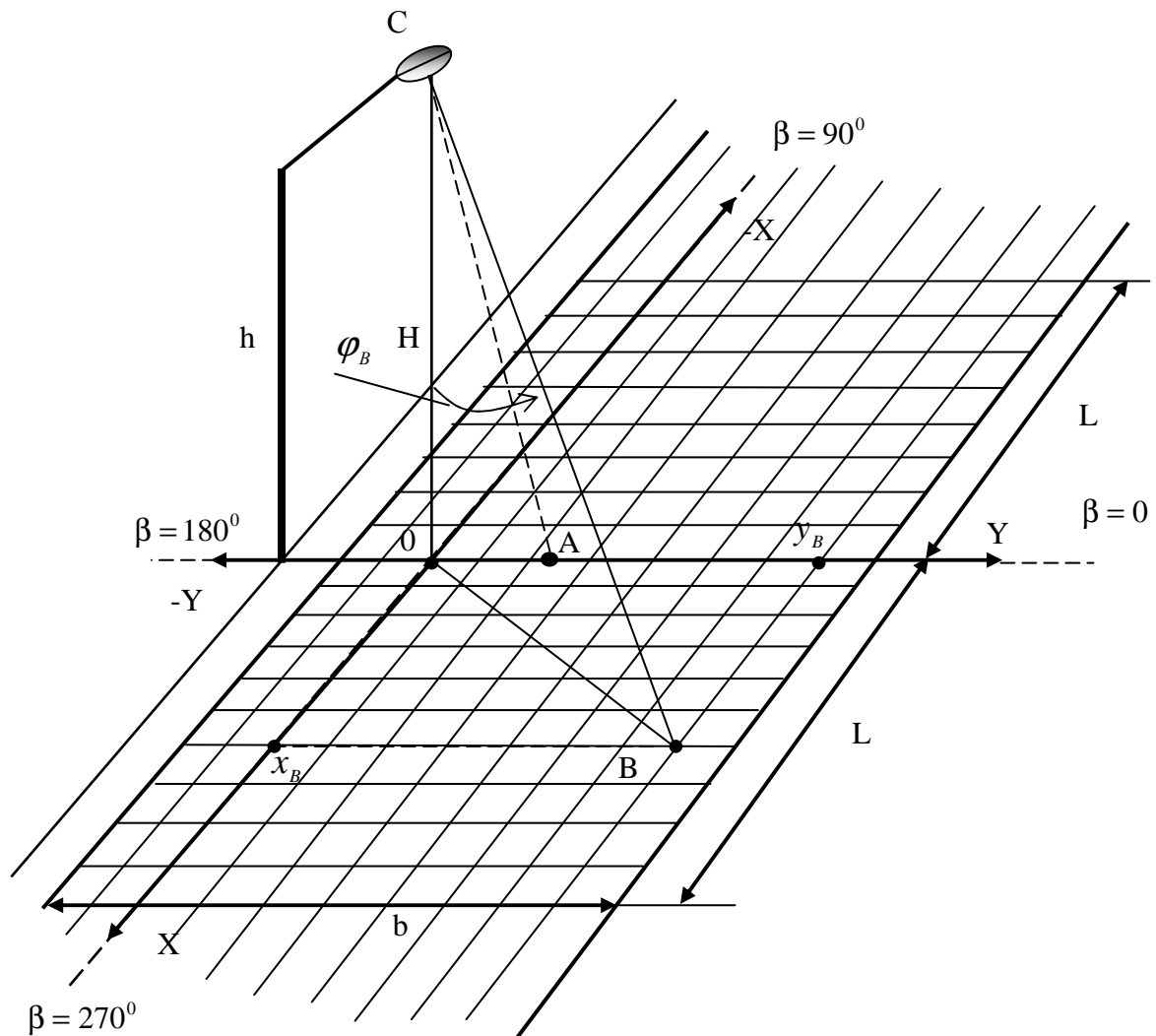


Рис. 2. Построение модели освещения дорожного покрытия

Расчет производился для одного светильника, но алгоритм позволяет производить расчеты и для группы светильников, расположенных на проезжей части дороги по различным системам (односторонняя, двухсторонняя, осевая и т.д.).

Пример расчета освещения проезжей части дороги (ширина 12м) от светильников типа HGS 203 фирмы Philips, расположенных по системе “односторонняя” с условной разрядной лампой ($\Phi_{\text{л}} = 1000\text{лм}$) показан на рис.3.



Рис. 3. Распределение освещенности на проезжей части дороги

$$E_{\text{макс}} = 1,9 \text{ лк}, \quad E_{\text{ср}} = 0,47 \text{ лк}.$$

Литература

1. В. Ван Боммель. Исследования дорожного освещения за последние 80 лет. Результаты и уроки на будущее // Светотехника. 1999. № 6. с. 4-6.
2. Шрейдер Д. А. Освещение автомобильных дорог и приоритеты зрительного восприятия // Светотехника. 1993. № 12. С. 4-6.
3. СНиП II-4-79. Естественное и искусственное освещение / Госстрой СССР. М.: Стройиздат, 1980.
4. Карачев В.М., Коробко А.А., Флодина Т.Л. О совершенствовании принципов нормирования и новой концепции норм дорожного освещения // Светотехника. 2002. №4 С. 2-9.
5. Харченко В.Ф. Щодо питання моделювання кривих сили світла світильників зовнішнього освітлення міст // Коммунальное хозяйство городов: Науч.-техн. сб. Вып.58. Серия: Технические науки и архитектура.- К.: Техника, 2004.- С. 132-138.
6. Харченко В.Ф. К расчету наружного освещения городов // Коммунальное хозяйство городов: Науч.-техн. сб. Вып.66. Серия: Технические науки и архитектура. – К.: Техника, 2005. – С. 238-242.

ДО ПИТАННЯ МОДЕЛЮВАННЯ ОСВІТЛЕННЯ ДОРОЖНЬОГО ПОКРИТТЯ
ВУЛИЦЬ ТА МАГІСТРАЛЕЙ МІСТА

В.Ф. Харченко

У даній статті розглянуті питання моделювання освітлення дорожнього покриття вулиць і магістралей міста. Запропоновано залежності, які зв'язують координати розрахункової точки і кутів напрямку сили світла світильника в полярній системі координат, приведено приклад розрахунку освітлення дорожнього покриття вулиці міста.

TO THE QUESTION OF MODELLING OF ILLUMINATION ROAD STREETS
POKRITJA AND HIGHWAYS OF CITY

V.F. Kharchenko

In given article questions of modeling of illumination of a road covering of streets and highways of city are considered. Dependences connecting coordinates of a settlement point and corners of a direction of force of light of the fixture in polar system of coordinates are offered, the example of calculation of illumination of a road covering of street of city is resulted.